

de natuurlijke kennisbron

## ***Investeren tot in de bodem***

*Evaluatie van  
het proefveld  
Mest Als Kans*

*M. Zanen  
J.G. Bokhorst  
C. ter Berg  
C.J. Koopmans*

**LOUIS BOLK**  
I N S T I T U U T

© [2008] Louis Bolk Instituut

Investeren tot in de bodem, evaluatie van het proefveld  
Mest Als Kans, M. Zanen, J.G. Bokhorst, C. ter Berg en  
C.J. Koopmans, 39 pagina's, rapport nr. LD 11.

Deze publicatie is te downloaden via [www.louisbolk.nl](http://www.louisbolk.nl)

# Voorwoord

Dit rapport bevat de gegevens van onderzoek naar het meerjarige effect van acht bemestingsstrategieën op basis van compost, organische mest en minerale mest op bodemvruchtbaarheid en nutriëntenemissie. De proef waarin de grondmonsters voor dit evaluatie onderzoek in 2006 werden genomen vond plaats tussen 1999 en heden op het akkerbouwbedrijf Arenosa te Lelystad onder de naam "Mest Als Kans" (MAK). Deze proef is uniek in zijn soort en voor zover bekend is er geen vergelijkbaar proefveld op de wereld waarin het middellange termijn effect van verzorgen van de bodemvruchtbaarheid met dertien verschillende mest- en compostsoorten beoordeeld kan worden. Dit proefveld is opgezet en wordt beheerd door het Louis Bolk Instituut.

Hierbij willen we een aantal mensen bedanken die een belangrijke bijdragen hebben geleverd bij de uitvoering van het veldwerk en de verwerking van de grondmonsters. Allereerst Jan van Geffen (bedrijfsleider van Arenosa) en Luc Steinbuch die vanaf het begin van de proef in 1999 betrokken zijn geweest. Riekje Bruinenberg (LBI) voor haar bijdrage aan de verwerking van de monsters en analyse van de regenwormen. Harm Keidel (BLGG, Oosterbeek) voor de bepalingen aan nematoden. Jaap Bloem en An Vos (Alterra-WUR) voor de microbiologische bepalingen en Anja van der Salm (ALTIC, Dronten) voor de analyses aan productkwaliteit. De organische meststoffen en bodemverbeteraars werden geleverd door L. Kruit, S. Kok, F. de Heer, R. Ticholt, CONVIRO, van Iersel en Fokker.

Het project *Investeren tot in de Bodem* is gefinancierd door het ministerie van LNV, binnen het cluster Mest en mineralen, Rabobank Nederland Projectenfonds en de Vereniging van Afvalbedrijven (VA). De inhoud van het onderzoek is afgestemd met de themawerkgroep Bodem en Bemesting (Bioconnect).



# Inhoud

Samenvatting	7
Summary	9
1 Inleiding	11
2 Materiaal en methoden	13
2.1 Proefopzet	13
2.2 Locatie	13
2.3 Bemesting	13
2.4 Uitvoering	14
3 Resultaten	17
3.1 Effect op chemische bodemkwaliteit	17
3.2 Effect op fysische bodemkwaliteit	17
3.3 Effect op biologische bodemkwaliteit	18
3.4 Effect op gewasopbrengst en productkwaliteit	20
4 Discussie en conclusies	23
4.1 Bemestingsstrategie en gewas- en bodemkwaliteit	23
4.2 Effecten op biologische processen	24
4.3 Effecten op nutriëntenemissie en fosfaatevenwicht	25
4.4 Samenvattende kwalitatieve beoordeling	28
Literatuur	29
Bijlage 1: Proefveld Mest Als Kans	31
Bijlage 2: Mestgift per variant	32
Bijlage 3: Samenstelling van de gebruikte mest- en compostsoorten per jaar	33
Bijlage 4: Analysemethoden	35
Bijlage 5: Effect van bemesting op bodemdichtheid en bodemstructuur	37
Bijlage 6: Effect van bemesting op aantallen, voedselgroepen en overlevingsstrategieën van nematoden	38



# Samenvatting

De aandacht voor de bodem in de landbouw neemt toe, zowel vanuit de praktijk als vanuit het beleid. Het nationale en internationale overheidsbeleid wil een duurzaam grondgebruik bevorderen. Er zijn echter andere ontwikkelingen die op gespannen voet kunnen staan met dit streven naar duurzaamheid. De regelgeving voortvloeiend uit de Nitraatrichtlijn en Kaderrichtlijn Water (KRW) zal steeds strengere eisen gaan stellen aan het gebruik van meststoffen en is gericht op fosfaatevenwichtsbemesting in 2015. Onduidelijk is of op termijn binnen de randvoorwaarden van het nieuwe gebruiksnormenstelsel een voldoende bodemkwaliteit te handhaven is. De zorg betreft vooral de intensievere teelten die gebruik maken van hogere inputs op de lichtere gronden.

Doel van het project *Investeren tot in de Bodem* was het verkrijgen van inzicht in het meerjarige effect van veelgebruikte organische meststoffen en bodemverbeteraars op bodemvruchtbaarheid en nutriëntenemissie. In november 2006 zijn daarom in acht van de dertien bemestingsvarianten van het sinds 1999 bestaande proefveld Mest als Kans metingen gedaan aan de fysische, chemische en biologische bodemeigenschappen en is de invloed van bemestingsstrategieën op opbrengst en productkwaliteit bepaald. De proef is opgenomen in de vruchtwisseling van een groententeeltbedrijf op lichte zavelgrond bij Lelystad. De bemesting vond plaats in mei. Op basis van een stikstofgift van 100 kg werkzame N/ha, een maximale fosfaatgift van 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar en voor GFT- en groencompost een wettelijk toegestane hoeveelheid droge stof van 6000 kg per hectare per jaar.

Na 7 jaar is er een verschuiving opgetreden van hoge opbrengsten bij NPK naar hoge opbrengsten bij de varianten potstalmest, natuurcompost en GFT. Ook GFT in combinatie met drijfmest had een gunstig effect op de opbrengst. In 2006 was er weinig effect van bemestingsstrategie op de productkwaliteit van bloemkool. In de bodem bleek het organische stofgehalte het meest gestegen in de variant met natuurcompost, gevolgd door potstalmest. Bij drijfmest nam het organische stofgehalte langzaam af. Het gehalte C-totaal werd beïnvloed door de hoeveelheid aangevoerde organische stof: hoe hoger de aanvoer, hoe hoger C-totaal. Natuurcompost gaf het hoogste gehalte, gevolgd door potstalmest. Ook het gehalte N-totaal werd significant beïnvloed door de bemestingsstrategie. Natuurcompost gaf hier het hoogste gehalte, gevolgd door GFT+ drijfmest en drijfmest. Kippenmest gaf voor beide parameters de laagste waarde. Uit de HWC-metingen en de POM fractie bleken verschillen in organische stofkwaliteit: natuurcompost gaf de hoogste HWC-waarde en POM fractie, gevolgd door potstalmest en drijfmest. Kippenmest, NPK en groencompost gaven relatief lage waarden. In 2006 was er geen significant effect op de bodemstructuur. Potstalmest gaf zowel op 10- als op 20 cm diepte de hoogste aantallen (wormen)gangen per vierkante meter (250 resp. 125). Bemestingsstrategie had geen significant effect op het aantal regenwormen. Er was geen correlatie tussen het aantal wormengangen en het aantal regenwormen. Het totaal aantal nematoden was relatief laag (422-905/100 g grond). In de voedselgroepen domineerden de bacterie-etters. Alleen in de plantenetende nematoden leidden verschillende bemestingsvarianten tot significante verschillen. Het aantal plantenetende nematoden was het hoogst bij natuurcompost, gevolgd door NPK. Er waren geen significante verschillen in bacteriële biomassa of schimmelbiomassa. Bacteriële activiteit was het hoogst bij potstalmest (797 pmol/g/h) en het laagste bij NPK (517 pmol/g/h). De potentiële stikstofmineralisatie als indicator voor de bodemkwaliteit op de langere termijn was het hoogst bij GFT+drijfmest, natuurcompost, potstalmest en drijfmest en het laagst bij NPK en GFT. Uit de modellering met NDICEA bleek dat alle meststoffen en bodemverbeteraars in de hier beschreven proefopzet wat betreft nitraatverlies onder de bouwvoor lager uitkomen dan de norm van 11,3 mg N/l. Geen van de varianten voldoet aan de fosfaatevenwichtsdoelstelling voor 2015. De varianten kippenmest, natuurcompost, potstalmest en GFT+drijfmest

leiden tot overschotten van meer dan 42 kg  $P_2O_5$ /ha/jr. Dit zijn echter ook de bemestingsvarianten met de hoogste opbrengst na 7 jaar. Groencompost, drijfmest en GFT leiden in deze proefopzet tot relatief lage  $P_2O_5$ -overschotten, maar bij zowel groencompost als drijfmest gaat de opbrengst in de loop van de jaren behoorlijk onderuit. GFT geeft ondanks een lage fosfaat- en stikstofaanvoer toch redelijke opbrengsten. Op basis van een zestal belangrijke criteria voor ondernemers en maatschappij lijken de varianten GFT+drijfmest, potstalmest en natuurcompost in de hier beschreven proefopzet de beste investering in de bodem met de minst negatieve gevolgen voor het milieu.



## Summary

National and international governments are aiming to support sustainable soil management. However, there are other developments that might conflict with this aim towards sustainability. The nitrates Directive and the new framework Directive establishing the principles of sustainable water policy in the European Union, result in a reduction of fertilizer inputs over time. The Dutch government is aiming at a phosphate equilibrium in 2015. The effect of this policy on long term soil fertility is unclear. Problems are to be expected in intensive crop rotations on sandy and loamy arable soils. The aim of the project *Investeren tot in de Bodem* (Investing down to the soil) was to gain insight in the multi-year effect of commonly used organic fertilizers and composts on soil fertility and nutrient losses. To study the effects of different types of animal manure, vegetable compost and mineral fertiliser (NPK) on soil fertility and nutrient losses, we made use of a long-term experiment set up in 1999: the MAK-trial (Manure As a Chance). The trial is situated in Lelystad, The Netherlands on an organic vegetable farm. The trial was laid out in a randomised block design with four replications. The soil was characterised as a light sandy clay (loam) with 30 cm topsoil, 9% clay, 4,4% lime, 1,6% OM. The application of fertilizers took place in May, every third year of the rotation. Manure and compost addition was limited by a maximum nitrogen mineralization of 67 kg N/ha/year from the fertilizer application and 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ ha/year. The application of household waste (GFT) and plant compost was limited by a maximum of 6000 kg dry matter/ha/year. After seven years, the effects of eight different fertilizer and compost types were examined in detail as part of the *Investeren tot in de Bodem* project (2006-2007). Soil samples were taken in November 2006. Soil was analysed for physical, chemical and biological characteristics and effect on yield and product quality was assessed.

Over the years the yields in the mineral fertilizer treatment declined while yields in compost- and deep stable manure treatments increased and resulted in the highest yields. GFT in combination with cattle slurry also had a positive effect on yield. In 2006 little effect was measured on product quality of cauliflower. The greatest increase in organic matter content was found in plant compost and deep stable manure. The organic matter content slightly decreased in the slurry treatment. The amount of C-total was influenced by the amount of added organic matter with fertilization: the more OM was added, the higher the amount of C-total. Plant compost resulted in the highest amounts, followed by deep stable manure. Likewise, the amount of N-total was significantly influenced by fertilization strategy. Plant compost resulted in the highest amounts, followed by GFT+slurry and slurry. Poultry manure resulted in the lowest values for both parameters. Fertilization treatment had a significant effect on HWC-values and POM fraction, parameters to characterise the quality of the organic matter. Plant compost, deep stable manure and GFT+slurry result in more easily extractable carbon (HWC) in the soil and higher POM. Poultry manure and NPK resulted in the lower values for both parameters. No significant effect on soil aggregates was found in 2006. Deep stable manure resulted in the greatest numbers of (earthworms) pores per m<sup>2</sup> at 10- and 20 cm depth. However, there was no significant effect of strategy on total number of earthworms and no correlation was found between pores and earthwormcounts. Total amount of nematodes per treatment was relatively low (422-905/ 100 g soil) and dominated by bacteria-eaters. Highest number of plant-eating nematodes occurred in the plant compost and NPK treatments. Bacterial- and fungal biomass was not significantly influenced by the choice of fertilizer. Deep stable manure resulted in the highest bacterial activity (797 pmol/g/h), NPK resulted in the lowest bacterial activity (517 pmol/g/h). Potential nitrogen mineralization is an indicator for soil quality on the long term. Mineralization is significantly lower in treatments in which little or no organic matter is applied, such as household waste compost and NPK. Nitrate

leaching into deeper soil layers was estimated using the NDICEA nitrogen and carbon model. All of the treatments in the MAK-trial had losses below the standard of 11,3 mg N/l. According to calculations on the phosphate surplus, none of the treatments could meet with the aim of a phosphate equilibrium (input = output). Poultry manure, plant compost, stable manure and GFT+slurry treatments all result in a surplus >40 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>/ha/jr. However, these treatments are also the ones that result in the highest yields. Plant compost (groencompost) and slurry result in a lower P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> surplus, but yields are very low. Among the fertilizers with relatively high yields, GFT+slurry, slurry and poultry manure are best in terms of both nitrate leaching and phosphate surplus. Based on six important criteria for both farmers and the governmental policy and on the trial described here, the treatments with GFT+slurry, deep stable manure and plant compost meet the aim of a sustainable investment in the soil with limited negative side-effects on the environment.

# 1 Inleiding

Op landbouwbedrijven is een goede bodemvruchtbaarheid onmisbaar. In de eerste plaats voor de optimale groei van gewassen maar ook in het kader van kostenbesparing en neveneffecten op het milieu. Het nationale en internationale overheidsbeleid wil een duurzaam grondgebruik bevorderen (VROM, 2003; EC, 2006). Er zijn echter andere ontwikkelingen die op gespannen voet kunnen staan met dit streven naar duurzaamheid. De regelgeving voortvloeiend uit de Nitraatrichtlijn en Kaderrichtlijn Water (KRW) zal steeds strengere eisen gaan stellen aan het gebruik van meststoffen, waaronder organische mest en compost en is gericht op aanscherping van de fosfaatgebruiksnormen zodat in 2015 evenwichtsbemesting wordt bereikt. Onduidelijk is of op termijn binnen de randvoorwaarden van het nieuwe gebruiksnormenstelsel een voldoende bodemkwaliteit te handhaven is. De zorg betreft vooral de intensievere teelten die gebruik maken van hogere inputs op de lichtere gronden.

Landbouwproductie kenmerkt zich door een hoog risico gecombineerd met een laag rendement. De laatste decennia is steeds gewerkt aan het verhogen van het rendement door beheersing van de kosten. Het productierisico is omlaag gebracht door bijvoorbeeld het gebruik van kunstmatige hulpstoffen (o.a. bemestingen en gewasbescherming). Nu de bodem van kostenbeheersing in zicht komt en anderzijds grenzen worden gesteld aan de externe input, komen andere manieren van risicobeheersing in beeld. Een stabiele productie is hierbij een vorm van risicobeheersing. Meer stabiliteit en een robuuster systeem kan worden bereikt door een goede bodemkwaliteit.

Een belangrijke sturingsmaatregel voor de praktijk is daarbij de aanvoer van meststoffen. Meststoffen worden gebruikt om voedingsstoffen te leveren en om de bodem te verbeteren. Over de levering van voedingsstoffen en de invloed op de chemische bodemkwaliteit is redelijk veel bekend. Bij de invloed op de fysische en biologische bodemkwaliteit ligt dat anders. Door de inzet van mest of compost treden mogelijk veranderingen op in de bodemstructuur, het organische stofgehalte, het poriënvolume maar ook in de samenstelling van het bodemleven. Dergelijke veranderingen hebben gevolgen voor wortelmogelijkheden, uitspoeling van voedingsstoffen, vochtbeschikbaarheid, efficiëntie van voedingsstoffenopname en gewaskwaliteit.

De werking van meststoffen op de bodem- en de gewaskwaliteit is echter complex en effecten van de inzet van compost en organische mest worden vaak pas zichtbaar op de langere termijn. Het stelsel van gebruiksnormen ([www.lnv.nl](http://www.lnv.nl)) dat per 1 januari 2006 geldt, beperkt de input van meststoffen. Een goede bodemkwaliteit en een efficiënte inzet en benutting van meststoffen worden daardoor steeds belangrijker voor een rendabele bedrijfsvoering. Onderbouwing van de effecten van verschillende mest- en compostsoorten voor de overzienbare, langere termijn, zijn van groot belang voor een betere sturing op bodemkwaliteit en nutriëntenemissies.

Doel van het project *Investeren tot in de Bodem* is het verkrijgen van inzicht in het meerjarige effect van uiteenlopende mest- en compostsoorten op de bodemkwaliteit en nutriëntenemissie. Eind 2006 zijn daarom in een gedeelte van het proefveld Mest Als Kans metingen gedaan aan de fysische, chemische en biologische bodemeigenschappen en is de invloed van bemestingsstrategieën op opbrengst en productkwaliteit bepaald.



## 2 Materiaal en methoden

### 2.1 Proefopzet

Om het effect van meerjarige toepassing van uiteenlopende mest- en compostsoorten op bodemeigenschappen, opbrengst en productkwaliteit te onderzoeken is gebruik gemaakt van een reeds bestaande meerjarenproef in Lelystad. Deze zogenaamde Mest Als Kans proef is in 1999 van start gegaan.

De oorspronkelijke proef is aangelegd in de vorm van een gewarde blokkenproef met 13 varianten in vier herhalingen. De grootte van de afzonderlijke veldjes is 7 m x 9 m. Het proefveldschema is gegeven in Bijlage 1. De proef is opgenomen in de vruchtwisseling van een groententeeltbedrijf bij Lelystad. De gewassen in de verschillende jaren waren: rode kool (1999), aardappel (2000), herfstkroot (2001), waspeen (2002), pastinaak (2003), broccoli (2004), pompoen (2005) en bloemkool (2006). In de vruchtwisseling van het perceel zijn geen groenbemesters opgenomen omdat dat op het bedrijf niet gebruikelijk was en het het antwoord op de onderzoeksvraag naar de werking van de diverse mest- en compostsoorten zou vertroebelen. In november 2006 is een bodembemonstering uitgevoerd in acht behandelingen: potstalmest vers, drijfmest, minerale mest, GFT compost + drijfmest, kippenmest, natuurcompost, GFT compost en groencompost.

### 2.2 Locatie

De proef is aangelegd op het bedrijf Arenosa ten noorden van Lelystad in Oostelijk Flevoland (52.32° N, 5.30° E). De bodem van het proefperceel is een lichte zavelgrond met 4,4% kalk, relatief arm aan organische stof (1,6%) en 9% lutum. De bouwvoor is ca. 30 cm dik met daaronder een afwisseling van humushoudende en humusarme zandlagen. Door de aanwezigheid van voldoende poriën naar de ondergrond kunnen de wortels het hele jaar voldoende vocht opnemen. De bodemvruchtbaarheidstoestand bij aanvang van de proef is weergegeven in Tabel 2-1.

*Tabel 2-1: Bodemvruchtbaarheid bij aanvang van de proef (bemonsteringsdatum 3 mei 1999).*

Laag	O.S	K-HCL	Pw	P-AI	pH-KCL
cm	%	mg K <sub>2</sub> O/ 100 g	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / l	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g	-
0-30	1.6	23	55	37	7.6

### 2.3 Bemesting

In de proef werden vanaf het voorjaar van 1999 jaarlijks 13 mest- en compostvarianten handmatig toegediend, met uitzondering van de jaren 2002 en 2004 in verband met de vruchtwisseling. Uitgangpunt was om bij de bemestingen steeds 100 kg werkzame stikstof uit de meststoffen per ha per jaar te geven en in de rotatie steeds in twee van de drie jaren te bemesten. De benodigde mestgift werd berekend via de werkingscoëfficiënten. Bijlage 2 geeft een uitgebreid overzicht van de gemiddelde mestgift per variant. Omdat er in twee van de drie jaar werd bemest was de streefwaarde 67 kg werkzame stikstof per ha per jaar uit meststoffen. Daarnaast werd uitgegaan van een maximale

fosfaatgift van 80 kg P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> per ha per jaar (de wettelijke norm zoals die in 1999 gold). Voor kippenmest en natuurcompost is de fosfaatsnorm beperkend voor de stikstofgift en werd dus minder dan gemiddeld 67 kg N per ha per jaar gegeven. Tenslotte gold voor GFT- en groencompost een wettelijk toegestane hoeveelheid droge stof van 6000 kg per hectare per jaar (BOOM besluit). Door deze norm werd de hoeveelheid aangevoerde stikstof en fosfaat sterk beperkt en was geen volwaardige bemesting mogelijk op basis van GFT en groencompost. Op basis van bovenstaande kaders ontstaan de bemestingsvarianten zoals weergegeven in Tabel 2-2.

Tabel 2-2: Gemiddelde mestgift (ton/ha) per bemestingsvariant op basis van de uitgangspunten voor de bemesting (kg/ha/jr)

Bemestingsvariant	Mestgift ton/ha/jr	Organische stof kg/ha/jr	N werkzaam kg/ha/jr	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> totaal kg/ha/jr	Droge stof kg/ha/jr
Potstalmest	27	4382	<b>67</b>	75	*
Drijfmest	23	1362	<b>67</b>	35	*
NPK	6	0	<b>67</b>	57	*
GFT + drijfmest	7+ 21	2596	<b>67</b>	70	*
Kippenmest	4	1494	47	<b>80</b>	*
Natuurcompost	33	6992	25	<b>80</b>	*
GFT	7	1330	6	38	<b>6000</b>
Groencompost	8	1574	5	32	<b>6000</b>

## 2.4 Uitvoering

**Bemesting** De bemesting vond plaats in 1999, 2000, 2001, 2003, 2005 en 2006. Waspeen (2002) en broccoli (2004) zijn niet bemest. Er zijn geen groenbemesters geteeld. In alle varianten is begin mei bemest en werd de mest of compost ingewerkt. Jaarlijks werd de samenstelling van de mest bepaald (Bijlage 3). De gemiddelde samenstelling per meststof staat vermeld in Tabel 2-3.

Tabel 2-3: Samenstelling meststoffen en compostsoorten in gram per kilogram vers product (gemiddelde van 6 analyses per meststof)

Bemestingsvariant	C/N	Droge stof	Org. stof	N-totaal	N-min	N-org	Nm/Norg	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O
g/kg vers product									
Potstalmest	13.5	239	164	5.5	0.6	4.9	0.12	2.8	8.5
Drijfmest	6.6	88	60	4.2	1.8	2.4	0.75	1.5	6.9
NPK	0	0	0	12	12	0	0	10	18
Kippenmest	8	508	399	23.4	4.7	18.7	0.25	20.7	17.4
Natuurcompost	18.7	566	211	5.5	0.8	4.7	0.17	2.6	4.8
GFT	11.5	635	185	7.6	1.0	6.6	0.15	5.4	6.8
Groencompost	13.5	567	185	7.0	0.9	6.1	0.14	4.6	5.4

**Chemische, fysische en biologische bodemanalyses** Op 16 november 2006 is de bouwvoor van het proefveld bemonsterd voor de bepaling van diverse chemische, fysische en biologische parameters. De uitgevoerde bepalingen zijn weergegeven in Tabel 2-4. Beschrijving van de methoden is gegeven in Bijlage 4.

*Tabel 2-4: Onderzochte chemische, fysische en biologische bodemparameters*

Parameter	Laag (cm)	Eenheid
N-totaal	0-10	g N/ kg droge grond
P-totaal	0-10	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / 100 g droge grond
Pw	0-10	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> / l
P-Al	0-10	mg P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> /100 g droge grond
Kali	0-10	mg K <sub>2</sub> O/ 100 g droge grond
C-org	0-10	%
C-totaal	0-10	g C/ kg droge grond
pH-KCl	0-10	-log[H <sup>+</sup> ]
Organische stof	0-10	%
Cd, Ch, Ni, Pb, Zn, Hg	0-10	mg/ kg droge stof
Particulate Organic Matter (POM)	0-10	g organische stof (53-2000 µm)/ kg grond
Dichtheid	2,5-7,5	g/ cm <sup>3</sup> droge grond
Vochtgehalte	2,5-7,5	% van verse grond
Bodemstructuur	0-10	%
	10-20	%
Wortels	0-10	#/ m <sup>2</sup>
	10-20	#/ m <sup>2</sup>
Wormengangen	0-10	#/ m <sup>2</sup>
	10-20	#/ m <sup>2</sup>
Regenwormen	0-20	g/ m <sup>2</sup>
	0-20	#/ m <sup>2</sup>
Nematoden	0-10	#/ 100 g veldvochtige grond
Biomassa bacteriën	0-10	µg C/ g droge grond
Biomassa schimmels	0-10	µg C/ g droge grond
Groei snelheid bacteriën	0-10	pmol/ g droge grond/ uur
Potentiële N-mineralisatie (aeroob)	0-10	mg N/ kg droge grond/ week
Potentieel mineraliseerbare N (anaeroob)	0-10	mg N/ kg droge grond
Hot water extractable carbon (HWC)	0-10	µg C/ g droge grond
Bodemrespiratie	0-10	mg CO <sub>2</sub> / 100 g droge grond/ week

**Gewasopbrengst- en kwaliteit** Voor het bepalen van de opbrengst van bloemkool werden van alle 8 behandelingen per veld 20 planten (4 rijen per plot, 5 planten per rij) handmatig geoogst. Per veld werd de bruto opbrengst (zonder blad) gewogen. De monsters werden geanalyseerd op droge stof (105°C) en inhoudstoffen door ALTIC te Dronten.

**Modelering met het model NDICEA** Het model NDICEA staat voor Nitrogen Dynamics In Crop rotations in Ecological Agriculture (van der Burgt et. al., 2006). Met het model is het mogelijk de langjarige effecten van een bepaald bouwplan en een bepaalde bemestingsstrategie door te rekenen. Het model bestaat uit de integratie van drie modules: 1) de mineralisatie van stikstof op basis van de afbraak van organische stof, 2) de waterbalans en daarmee stikstoftransport in de bodem en 3) gewasgroei en daarmee de water- en stikstofopname door het gewas. De stikstof die uit mineralisatie vrijkomt wordt verrekend met de opname door het gewas, de berekende stikstofuitspoeling en de berekende denitrificatie. Dit geeft uiteindelijk de minerale stikstof in de grond als een belangrijke uitkomst van het model. Voor de modelleringen zoals beschreven in de discussie is gewerkt in de standaard versie van het model, zonder te kalibreren.

**Statistische analyse** De resultaten werden geanalyseerd met een variantie analyse (ANOVA) in het statistisch programma Genstat. Significantie van effecten werd getoetst met de F-test ( $\alpha = 0,05$ ). Significante verschillen tussen behandelingen werden bepaald m.b.v. de LSD-waarde.



## 3 Resultaten

In dit hoofdstuk worden de effecten van de acht verschillende bemestingsstrategieën op de bodemvruchtbaarheid besproken. De verschillen in bodem- en gewaskwaliteit kunnen worden toegeschreven aan de behandelingen met de volgende kanttekening: bij de varianten met GFT- en groencompost wordt duidelijk minder werkzame stikstof gegeven dan bij de overige varianten. Bij de varianten met weinig of geen organische stof aanvoer zoals minerale mest, kippenmest en drijfmest wordt er over de jaren veel minder oude kracht opgebouwd dan bij bijvoorbeeld potstalmest. Bij de beoordeling van de resultaten dient hier rekening mee te worden gehouden. Verder geldt dat gezien het kader voor de bemestingskeuze, de mestgift in deze proef minder is dan in de praktijk gebruikelijk. Dit heeft effect op de opbrengstniveaus die aanzienlijk lager uitvallen dan in de praktijk gebruikelijk is.

### 3.1 Effect op chemische bodemkwaliteit

Tabel 3-1 geeft een overzicht van de belangrijkste bodemchemische parameters na ruim zeven jaar. Na ruim zeven jaar is het organische stofgehalte het meest gestegen in de variant met natuurcompost. Ook verse potstalmest gaf een verhoging van het organische stofgehalte. Bij drijfmest nam het organische stofgehalte langzaam af. Bij de overige bemestingsvarianten waren er geen verschillen meetbaar. Het gehalte C-totaal werd beïnvloed door de hoeveelheid aangevoerde organische stof: hoe hoger de aanvoer van organische stof met de mest, hoe hoger C-totaal. Natuurcompost gaf het hoogste gehalte, gevolgd door potstalmest. Ook het gehalte N-totaal werd significant beïnvloed door de bemestingsstrategie. Natuurcompost gaf hier het hoogste gehalte, gevolgd door GFT+ drijfmest en drijfmest. Kippenmest gaf voor beide parameters de laagste waarde. De metingen aan hot water extractable carbon (HWC) liepen uiteen van 251 tot 358  $\mu\text{g C/g}$  grond. Kippenmest, NPK en groencompost gaven relatief lage HWC-waarde. GFT- compost en groencompost werden in een vergelijkbare hoeveelheid gegeven, maar de HWC-waarde van GFT was significant hoger. Dit duidt op een minder snelle afbraak van organische stof bij GFT. Er was een significant effect van de meststof op de POM fractie (OS fractie 53 -2000 $\mu\text{m}$  per kg grond). Natuurcompost en potstalmest resulteerden in de hoogste POM fracties. NPK gaf de laagste POM fractie. Ondanks de verschillen in fosfaatgift werden er geen significante verschillen gevonden in P-totaal (gem. 112 mg  $\text{P}_2\text{O}_5/100\text{ g}$ ), Pw (gem. 54  $\text{P}_2\text{O}_5/100\text{ g}$ ) en P-Al (gem. 43  $\text{P}_2\text{O}_5/\text{l}$ ). Ook de pH werd niet beïnvloed door de bemestingsvariant.

### 3.2 Effect op fysische bodemkwaliteit

De bemestingsstrategie had na 7 jaar geen significant effect op de bodemdichtheid (2,5-7 cm diepte). De gemiddelde bulkdichtheid was 1,44  $\text{g/cm}^3$ . Opvallend was de trend ( $P=0,2$ ) van een hoger vochtpercentage bij natuurcompost en GFT (Bijlage 5). In 2006 was geen significant effect waarneembaar op de percentages aan bodemstructuur elementen. Opvallend was het lagere percentage kruiden in de variant NPK ( $P=0,07$ ) (Bijlage 5). Opvallend waren de hogere aantallen wortels in het bloemkoolgewas op 10- en 20 cm diepte bij de varianten potstalmest en GFT compost (Tabel 3-2). Statistisch verschilden deze aantal wortels echter niet tussen de varianten Potstalmest gaf zowel op 10- als op 20 cm diepte de hoogste aantallen (wormen)gangen per vierkante meter (250 resp. 125). Varianten met natuurcompost, groencompost, NPK en kippenmest gaven significant lagere aantallen ( $P=0,02$ ). Drijfmest en GFT gaven intermediaire waarden.

Tabel 3-1: Effect van bemestingsvariant op bodemchemische parameters (0-10 cm), HWC-waarde en Particulate Organic Matter (POM)

Bemestingsvariant	pH	OS	C-totaal	N-totaal	C/N	HWC-waarde	POM fractie (53 -2000µm)
	-log[H <sup>+</sup> ]	%	g C/ kg grond	g N/ kg grond		µg C/ g grond	g/ kg grond
Potstalmest	7.5	1.70 <sup>ab</sup>	13.3 <sup>abc</sup>	0.66 <sup>ab</sup>	20.4	325 <sup>bc</sup>	6.77 <sup>bc</sup>
Drijfmest	7.6	1.50 <sup>a</sup>	13.8 <sup>bc</sup>	0.69 <sup>b</sup>	20.0	320 <sup>bc</sup>	5.96 <sup>ab</sup>
NPK	7.6	1.60 <sup>a</sup>	13.0 <sup>ab</sup>	0.65 <sup>ab</sup>	20.0	280 <sup>ab</sup>	5.77 <sup>a</sup>
GFT + drijfmest	7.7	1.60 <sup>a</sup>	13.5 <sup>bc</sup>	0.71 <sup>b</sup>	19.1	318 <sup>bc</sup>	5.96 <sup>ab</sup>
Kippenmest	7.7	1.55 <sup>a</sup>	12.3 <sup>a</sup>	0.61 <sup>a</sup>	20.1	301 <sup>abc</sup>	6.14 <sup>ab</sup>
Natuurcompost	7.6	1.85 <sup>b</sup>	14.3 <sup>c</sup>	0.77 <sup>c</sup>	18.5	358 <sup>c</sup>	7.59 <sup>c</sup>
GFT	7.6	1.70 <sup>ab</sup>	12.8 <sup>ab</sup>	0.67 <sup>b</sup>	19.1	321 <sup>bc</sup>	6.52 <sup>ab</sup>
Groencompost	7.5	1.60 <sup>a</sup>	13.5 <sup>bc</sup>	0.68 <sup>b</sup>	19.8	251 <sup>a</sup>	6.02 <sup>ab</sup>
P-waarde	NS	0.06	0.02	<0.01	NS	0.04	0.02

Getallen in dezelfde kolom met verschillend superscript zijn significant verschillend ( $p < 0,05$ )

Tabel 3-2: Effect van bemestingsstrategie op aantal wortels, poriën en wormen op 10- en 20 cm diepte

Bemestingsvariant	Wortels #/ m <sup>2</sup>		Wormengangen #/ m <sup>2</sup>		Regenwormen #/ m <sup>2</sup>
	10 cm diepte	20 cm diepte	10 cm diepte	20 cm diepte	20x20x20 cm
Potstalmest	1600	1156	250 <sup>c</sup>	125 <sup>b</sup>	154
Drijfmest	838	844	213 <sup>bc</sup>	63 <sup>ab</sup>	60
NPK	1006	762	75 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>	66
GFT + drijfmest	1100	1075	200 <sup>bc</sup>	19 <sup>a</sup>	83
Kippenmest	1056	938	125 <sup>ab</sup>	13 <sup>a</sup>	80
Natuurcompost	994	888	81 <sup>a</sup>	19 <sup>a</sup>	85
GFT	1150	1038	169 <sup>abc</sup>	63 <sup>ab</sup>	96
Groencompost	1200	794	119 <sup>ab</sup>	6 <sup>a</sup>	54
P-waarde	NS	NS	0.02	<0.01	NS

Getallen in dezelfde kolom met verschillend superscript zijn significant verschillend ( $p < 0,05$ )

### 3.3 Effect op biologische bodemkwaliteit

Bemestingsstrategie had geen significant effect op het aantal regenwormen (Tabel 3-2). Het aantal volwassen regenwormen in de laag 0-20 cm varieerde tussen de 60/ m<sup>2</sup> (drijfmest) en 154/ m<sup>2</sup> (potstalmest). De biomassa van de regenwormen varieerde tussen de 61 kg/ ha en 170 kg/ ha. Door de grote spreiding binnen objecten waren de verschillen niet significant. Het aantal soorten was beperkt. Alle regenwormen behoorden tot de endogeïc groep (bodembewoners). Ruim 95% van de regenwormen behoorde tot de *Aporrectodea calliginosa*, de rest tot *Aporrectodea chlorotica*. Er was geen correlatie tussen het aantal wormengangen en het aantal regenwormen.

Opmerkelijk was wel dat potstalmest zowel wat betreft wortels, wormengangen als regenwormen de hoogste aantallen telde.

De dichtheid van nematoden ligt volgens de nationale referentie (Rutgers et.al., 2007) voor bouwland op kleigrond op 1270 per 100 g verse grond en voor bouwland op zand op 3605 per 100 g verse grond. Het totaal aantal vrijlevende nematoden in het proefveld lag tussen de 422 en 905 per 100 g grond (Bijlage 6). In de voedselgroepen domineerden de bacterie-eters, wat voor bouwland niet ongevoel is. Verschillen tussen varianten waren niet significant. Alleen in de plantenetende nematoden leidden verschillende bemestingsvarianten tot significante verschillen in aantallen per 100 g grond. Het aantal plantenetende nematoden was het hoogst bij natuurcompost, gevolgd door NPK en potstalmest. In alle overige varianten was het aantal relatief laag. In het onderscheid op basis van overlevingsstrategieën waren er geen significante verschillen.

De bacteriële biomassa's waren zeer laag vergeleken met gemiddelde waarden voor bouwland op zand en klei (Rutgers et.al., 2007). Ook de schimmelbiomassa's waren laag. Er waren geen significante verschillen in bacteriële biomassa of schimmelbiomassa tussen de bemestingsvarianten. In vergelijking met metingen op zand (Rutgers et.al., 2007) waren de thymidine- en leucine inbouw, als maat voor de bacteriële activiteit, aan de hoge kant. Bacteriële activiteit was het hoogst bij de variant met potstalmest en het laagste bij de variant met NPK (Tabel 3-3).

*Tabel 3-3: Effect bemestingsvariant op bacteriële activiteit en schimmelbiomassa*

Bemestingsvariant	C/N meststof	Bacteriële biomassa µg C/ g grond	Thymidine pmol/ g/ h	Leucine pmol/ g/ h	Schimmel biomassa µg C/ g grond	Ratio S/B
Potstalmest	13.5	23	212	797 <sup>c</sup>	10	0.48
Drijfmest	6.6	17	177	580 <sup>ab</sup>	11	0.69
NPK	0	18	162	517 <sup>a</sup>	12	0.67
GFT + drijfmest	-	26	176	660 <sup>abc</sup>	10	0.56
Kippenmest	8	24	193	757 <sup>c</sup>	10	0.42
Natuurcompost	18.7	28	200	756 <sup>c</sup>	7	0.27
GFT	11.5	17	171	706 <sup>bc</sup>	9	0.94
Groencompost	13.5	29	190	743 <sup>c</sup>	9	0.44
P-waarde	-	NS	NS	0.02	NS	NS

Getallen in dezelfde kolom met verschillend superscript zijn significant verschillend ( $p < 0,05$ )

Een van de methoden waarmee men de activiteit van het bodemleven kan beoordelen, is het meten van de respiratie of koolzuurproductie. De respiratie in 2006 was in alle objecten relatief laag (gem. 34 mg/100 g grond per week). Er waren geen significante verschillen tussen behandelingen.

In tabel 3-4 zijn de waarden voor aërobe- en anaërobe N-mineralisatie weergegeven. Opvallend zijn de verschillen in aërobe mineralisatie na 7 jaar. De GFT+drijfmest combinatie resulteerde in de hoogste mineralisatie gevolgd door de potstalmest, drijfmest en natuurcompost. NPK maar ook GFT compost bleven hierbij achter.

Tabel 3-4: Effect van bemestingsvarianten op N-mineralisatie

Bemestingsvariant	Bacteriële biomassa µg C/ g grond	Pot. N-mineralisatie mg N/ kg droge grond / wk	Pot. mineraliseerbare N mg N/ kg droge grond
Potstalmest	23	2,3 <sup>b</sup>	17.7
Drijfmest	17	2,3 <sup>b</sup>	12.4
NPK	18	1,9 <sup>a</sup>	14.1
GFT + drijfmest	26	2,4 <sup>b</sup>	16.3
Kippenmest	24	2,2 <sup>ab</sup>	13.1
Natuurcompost	28	2,3 <sup>b</sup>	17.7
GFT	17	1,9 <sup>a</sup>	15.6
Groencompost	29	2,1 <sup>ab</sup>	14.8
P-waarde	NS	0.04	NS

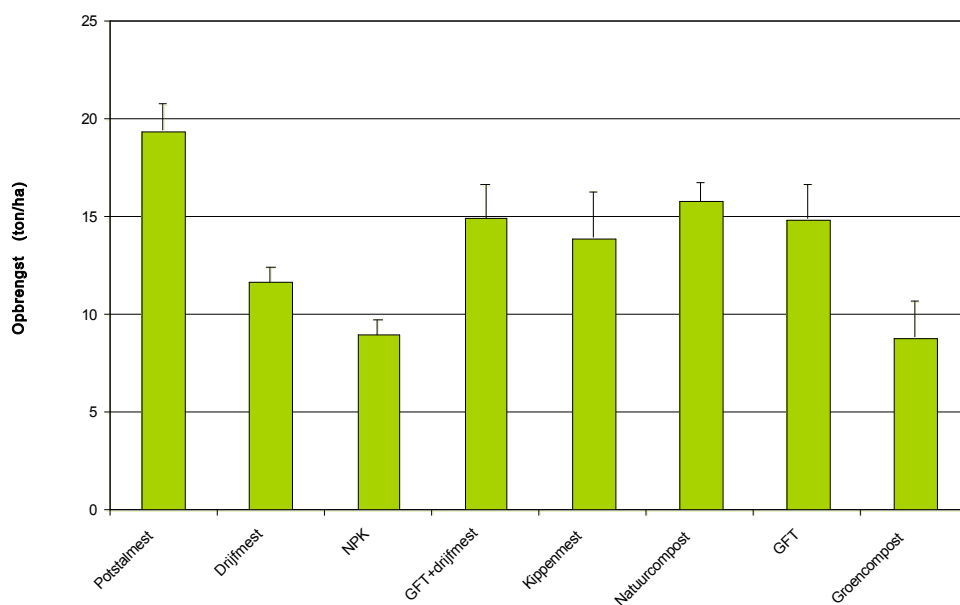
Getallen in dezelfde kolom met verschillend superscript zijn significant verschillend ( $p < 0,05$ )

### 3.4 Effect op gewasopbrengst en productkwaliteit

In Figuur 3-1 is de invloed van bemestingsstrategie op de opbrengst van bloemkool in 2006 weergegeven. De bruto opbrengst werd significant beïnvloed door de bemestingsstrategie ( $p=0,001$ ). De variant met potstalmest gaf na 7,5 jaar significant ( $P=0,001$ ) meer opbrengst (19,5 ton/ha) dan de varianten drijfmest (12,7 ton/ha), NPK (9 ton/ha), kippenmest (14 ton/ha), GFT (14,9 ton/ha) en groencompost (8,9 ton/ha). De varianten GFT+ drijfmest en natuurcompost gaven gemiddeld een relatief hoge opbrengst. De opbrengst in deze twee varianten verschilde niet significant met de opbrengst in de variant met potstalmest. De laagste opbrengsten werden gevonden in de NPK en groencompostvarianten.

Bemestingsstrategie had een significant effect op een aantal van de inhoudsstoffen in bloemkool. Zowel drogestofpercentage als de elementen fosfor (P) en natrium (Na) werden significant beïnvloed (Tabel 3-5). Voor de overige elementen werden geen verschillen gevonden. Potstalmest gaf een significant lager DS-gehalte (6,2%) dan de varianten met kippenmest (6,6%), NPK (6,9%) en groencompost (7,0%). Het fosforgehalte was bij de varianten met NPK en groencompost (6,2 g/ kg droge stof) significant hoger dan bij de varianten met natuurcompost (5,7 g/ kg droge stof), potstalmest (5,7 g/ kg droge stof), GFT (5,7 g/ kg droge stof) en kippenmest (5,8 g/ kg droge stof).

Figuur 3-1: Effect van bemestingsstrategie op de bruto opbrengst van bloemkool



Tabel 3-5: Effect van bemestingsstrategie op de droge stofanalyse van bloemkool. Gemiddelden per variant.

Bemestingsvariant	DS	N-totaal	P	K	Na
	%				
Potstalmest	6,2 <sup>a</sup>	34,0	5,7 <sup>a</sup>	46,7	0.82 <sup>c</sup>
Drijfmest	6,6 <sup>abc</sup>	33,3	6,0 <sup>ab</sup>	45,9	0.61 <sup>ab</sup>
NPK	6,9 <sup>cd</sup>	34,5	6,2 <sup>b</sup>	46,5	0.56 <sup>ab</sup>
GFT + drijfmest	6,4 <sup>ab</sup>	34,1	5,9 <sup>ab</sup>	46,8	0.68 <sup>abc</sup>
Kippenmest	6,6 <sup>bcd</sup>	33,7	5,8 <sup>a</sup>	46,2	0.66 <sup>ab</sup>
Natuurcompost	6,4 <sup>ab</sup>	32,5	5,7 <sup>a</sup>	45,7	0.68 <sup>abc</sup>
GFT	6,5 <sup>ab</sup>	33,1	5,7 <sup>a</sup>	45,9	0.72 <sup>bc</sup>
Groencompost	7,0 <sup>d</sup>	33,6	6,2 <sup>b</sup>	46,1	0.55 <sup>a</sup>
P-waarde	0.01	NS	0.01	NS	0.05

Getallen in dezelfde kolom met verschillende letters zijn significant verschillend ( $p < 0,05$ )



## 4 *Discussie en conclusies*

### 4.1 *Bemestingsstrategie en gewas- en bodemkwaliteit*

In deze proef werd, na 7 jaar bemesting met verschillende mest- en compostsoorten op een stikstofniveau van gemiddeld 67 kg N/ ha/ jaar, een toenemend positief effect gevonden van potstalmest en compost op gewasopbrengst: in het eerste jaar na bemesten gaf de NPK variant nog de hoogste opbrengst (mondelinge mededeling J.G. Bokhorst), maar in de loop van het onderzoek is er een verschuiving opgetreden en gaven de varianten met een lage Nm/Norg verhouding (potstalmest, natuurcompost en GFT) de hoogste opbrengsten. Dit resultaat komt overeen de conclusies uit meerjarig onderzoek op grasland waaruit bleek dat de stikstofwerking van organische meststoffen toeneemt bij herhaald gebruik (Schröder et al, 2007). Interessant is de hogere opbrengst bij de variant waarin GFT werd aangevuld met drijfmest ten opzichte van GFT of drijfmest alleen. De hogere opbrengst valt samen met een relatief hogere mineralisatie. Opvallend is dat de N-mineralisatie alleen hoger is ten opzichte van de GFT variant en niet ten opzichte van de drijfmest variant.

Qua productkwaliteit, gemeten aan de droge stof en de inhoudstoffen van het product, was het effect van bemestingsstrategie beperkt. In bloemkool gaven groencompost, NPK en kippenmest significant hogere droge stofgehalten en daarmee een wat betere productkwaliteit dan de overige mest- en compostsoorten. Groencompost en NPK zijn echter ook de varianten met de laagste opbrengst. Varianten met een relatief hoge opbrengst zoals potstalmest, natuurcompost en GFT+drijfmest geven een lager droge stofgehalte. De hogere P-gehalten in bloemkool bij groencompost en NPK zijn niet te verklaren uit een hogere fosfaat gift in 2006 in de betreffende varianten. Op basis van de mestgift was een eventueel hoger N- en P-gehalte te verwachten in de varianten natuurcompost en kippenmest.

Van de bemestingsstrategieën gericht op een optimale voeding van het gewas (potstalmest, drijfmest, NPK, kippenmest en GFT+drijfmest) leverde potstalmest en GFT+drijfmest de grootste bijdrage aan de toevoer van vers organisch materiaal. In de compostvarianten sprong natuurcompost er wat betreft organische stofaanvoer positief uit omdat de aanvoer daarvan niet werd beperkt door regelgeving. De hoge aanvoer van organische stof met de verschillende varianten werd ook zichtbaar in de metingen aan overige bodemparameters.

Uit de HWC-metingen en de POM fractie bleken verschillen in organische stofkwaliteit. Natuurcompost gaf de hoogste HWC-waarde. Kippenmest en GFT gaven de laagste HWC-waarden. Een lage HWC-waarde wijst op een snellere afbraak van organische stof (Ghani et al., 2003) en dus op een minder gunstig effect op de bodemvruchtbaarheid op langere termijn. De POM fractie van de organische stof in de bodem, een tweede indicator voor de kwaliteit van de organische stof (Wander, 2004), werd beïnvloed door bemestingsstrategie. Natuurcompost gaf de hoogste waarde, gevolgd door potstalmest. NPK gaf de laagste waarden. De resultaten komen overeen met onderzoek in Michigan, Amerika, waar na 2 jaar een stijging van de POM werd gevonden op percelen waar compost werd toegediend ten opzichte van bemesting met minerale meststoffen (Willson et al, 2001).

Opvallend was dat er geen meetbare verschillen in fosfaatparameters waren, ondanks de grote verschillen in fosfaataanvoer gedurende 8 jaar. De grond is waarschijnlijk sterk fosfaatfixerend. In 2006 was het effect van

meststoffen met een hoog organische stof- en kaligehalte en compostsoorten op de bodemstructuur niet significant. Door bodembewerking (inclusief oogstwerkzaamheden) kunnen verschillen in bodemstructuur echter gemakkelijk tijdelijk genivelleerd worden. Wel waren er waarneembare verschillen in de hoeveelheid (wormen)gangen. Potstalmest gaf zowel op 10- als op 20 cm diepte de hoogste aantallen wormengangen per vierkante meter. Wormengangen zijn onder meer belangrijk voor de doorworteling en luchttoetreding van de ondergrond en waterafvoer.

De variatie in regenwormenaantallen en biomassa was groot. In 2006 werd er alleen een trend in regenwormen waargenomen en was hun aantal twee keer zo hoog in de variant met potstalmest ten opzichte van de variant met NPK. Edwards & Lofty (1982) vonden in het langjarige experiment op Rothamsted Experimental Station, U.K., bemesting een positief effect had op de hoeveelheid regenwormen in de bodem. Bemesting van organische mest in combinatie met minerale mest resulteerde in de grootste aantallen regenwormen. In Nederland is vooral veel onderzoek op graslanden gedaan naar de relatie tussen bemesting en regenwormen. Van Vliet et al (2007) vonden op graslanden in noord Nederland een positieve relatie tussen een hoog organische stofgehalte en het aantal regenwormen.

## 4.2 *Effecten op biologische processen*

In deze proef was er na 7 jaar wel een duidelijk effect van mesttype op de N-mineralisatie, maar nog weinig significant effect op het bodemleven. De bacteriële biomassa was laag ten opzichte van wat men normaal op akkerbouwgrond in Nederland vindt (Bloem et al., 2006). De lage biomassa heeft mogelijk te maken met het tijdstip van de meting, namelijk in november. Metingen voor de nationale referentie (Rutgers et al, 2007) werden uitgevoerd in het voorjaar, relatief kort na toediening van meststoffen. Ook in een 12-jarige bemestingsproef van de universiteit van Gent in Melle (Koopmans et al, 2006) werd in het najaar gemeten en was de bacteriële biomassa vergelijkbaar laag. Het is aannemelijk dat de bacteriële biomassa, maar ook nematoden aantallen kort na de toediening van met name sneller werkende meststoffen zoals drijfmest en NPK, hoger zijn dan aan het einde van het groeiseizoen. In vergelijking met metingen op lichte zavel in Melle (Koopmans et al, 2006) en op zandgrond (van Schooten et. al., 2006) waren de thymidine- en leucine inbouw aan de hoge kant. Bacteriële activiteit was het hoogst bij de variant met potstalmest en het laagst bij de variant met NPK. Qua schimmelbiomassa waren er geen significante verschillen tussen de bemestingsvarianten. De potentiële N-mineralisatie als indicator voor biologische processen, was significant lager in de varianten NPK en GFT. In de bemestingsproef op Proefboerderij de Rusthoeve op zware zavel (Koopmans et al, 2006) gaven de varianten groencompost en vaste mest een significant hogere N-mineralisatie dan drijfmest. GFT zat daar tussen in.

Veranderingen in mesttype hebben na langere tijd (20 jaar) duidelijke effecten op het percentage organische stof en op het bodemleven, met name in de akkerbouw. Bij een vergelijking van geïntegreerde en gangbare akkerbouw op de Lovinkhoeve (20% lutum, 2,3 % OS) leidde een hogere input van organische stof (5650 versus 3200 kg/ha/jr) na 20 jaar tot een 27% hoger organische stofgehalte (2,8 versus 2,2%). De biomassa van bacteriën en schimmels was niet significant verhoogd, maar de aantallen bacterie-etende protozoën en nematoden waren respectievelijk 60 en 20% hoger. Dit ging gepaard met een 20% hogere potentiële C mineralisatie en een 30% hogere potentiële N mineralisatie. Op de Lovinkhoeve was de bacteriebiomassa 5 maal hoger (100µg C/ g grond) dan in het hier



beschreven onderzoek (Bloem et al, 1994). Na 25 jaar organische bemesting van akkers in Zwitserland (DOK-trial, Mäder et al., 2002) waren het organische stofgehalte, de hoeveelheid bacteriën en bacterievore nematoden en de potentiële N mineralisatie 30 tot 50% hoger dan met alleen minerale bemesting. De verschillen tussen verschillende vormen van organische bemesting waren kleiner. Met alleen minerale mest was de bacteriële biomassa significant lager (40 µg C/ g grond), maar het verschil tussen gangbaar (kunstmest+organische mest) en organisch (alleen organische mest) was niet significant. De potentiële N mineralisatie vertoonde een vergelijkbaar beeld: significant lager met alleen kunstmest (3,7 mg N/kg/wk) en beperkte verschillen tussen gangbare en organische bemesting. Akkers die alleen organische mest kregen hadden een hogere microbiële biomassa, lagere microbiële activiteit en minder verlies van koolstof uit de bodem (Birkhofer et al., in prep). De resultaten van de bodembioologische analyse wijzen in het algemeen op een hoge (micro)biologische activiteit, maar een zeer lage biomassa en weinig labiele organische stof. De organische stof wordt bijna net zo hard afgebroken als het wordt aangevoerd. Dat komt overeen met de veldervaringen op deze lichte, kalkrijke grond in deze proef. De pH van 7,5 en het lage kleigehalte (9% lutum) bevorderen een hoge bacteriële activiteit en de snelle afbraak.

In de samenstelling van bodemnematoden op basis van voedselgroepen waren de bacterie-etters dominant, wat voor bouwland niet ongevoel is. De relatief lage totale aantallen nematoden ten opzichte van de nationale referentie zouden te maken kunnen hebben met het tijdstip van bemonstering van het proefveld, namelijk in november. Vooral de sneller werkende meststoffen zoals drijfmest hebben mogelijk wel gezorgd voor een piek in de nematodenpopulatie kort na toediening, maar de aantallen zijn in de loop van het jaar weer afgenomen.

In het onderscheid op basis van overlevingsstrategieën waren er geen significante verschillen. Het aantal planten-etende nematoden was het hoogst bij natuurcompost, gevolgd door NPK en potstalmest en relatief laag bij GFT+drijfmest, kippenmest en groencompost. Hoge aantallen planten-etende nematoden in varianten met minerale mest en lage aantallen in groencompost werden ook gevonden in een 12-jarige bemestingsproef van de universiteit van Gent in Melle (Koopmans et al, 2006). In bemestingsonderzoek op zware zavel op Proefboerderij de Rusthoeve werd in 2005 na 4 jaar bemesten het effect van drijfmest op het bodemleven vergeleken met het effect van groencompost, GFT en vaste mest (Koopmans et al, 2006). Groencompost resulteerde in de meeste nematoden, GFT gaf de laagste aantallen bacterie-etende nematoden, vaste mest de meeste schimmel-etende nematoden en groencompost de meeste planten-etende nematoden. Het hoge percentage Cp-1 en Cp-2 nematoden wijst op respectievelijk een voedselrijk habitat en een verstoord habitat. Ook de Maturity Index wijst op een verstoord habitat.

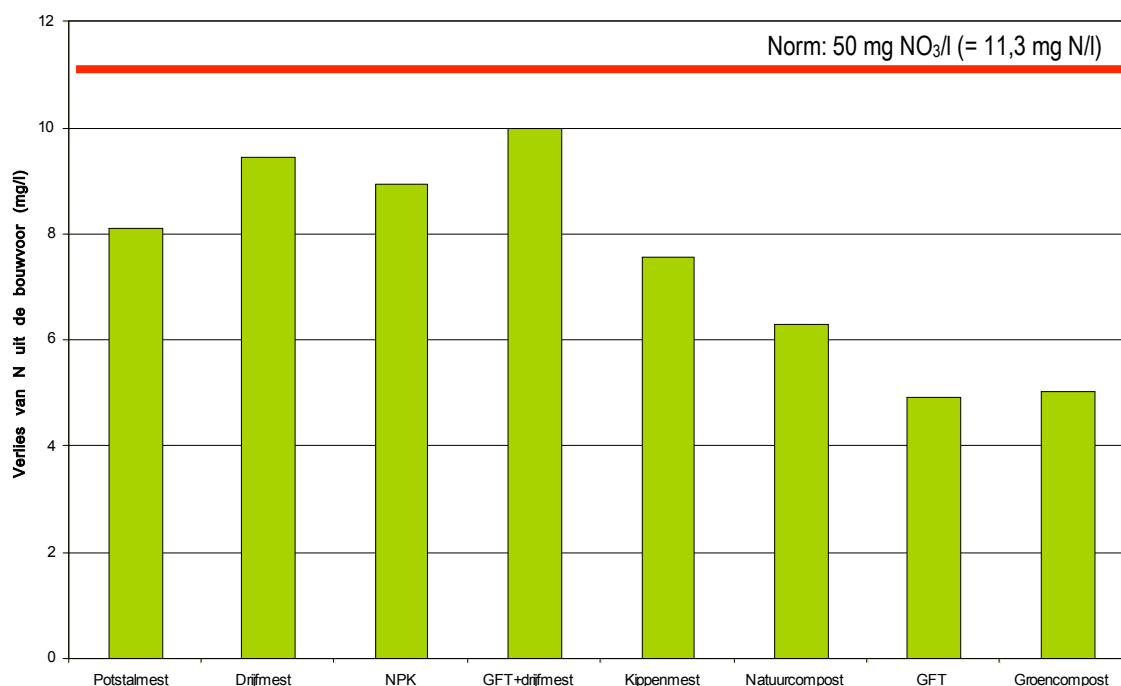
### *4.3 Effecten op nutriëntenemissie en fosfaatevenwicht*

Nederland moet vanaf 2006 voldoen aan de verplichtingen die voortkomen uit de Europese Nitraatrichtlijn (91/676/EEC). Uit deze richtlijn volgt dat met betrekking tot het gebruik van meststoffen er gewerkt zal worden met een stelsel van normen voor het gebruik van stikstof, fosfaat en dierlijke mest in de landbouw om te voorkomen dat de norm van 50 mg nitraat (NO<sub>3</sub>) per liter grondwater wordt overschreden. In het in dit rapport beschreven onderzoek zijn geen metingen aan nitraatuitspoeling verricht. Wel kan met behulp van het stikstofmodel NDICEA versie 5.3.17 (van der Burgt et al, 2006) per variant het potentiële stikstofverlies naar het milieu worden berekend.

Modellering met NDICEA op basis van de verzamelde data resulteert in een getal (kg/ha) voor de hoeveelheid stikstof (N) die verdwijnt uit de bewortelbare zone (0-70 cm). Dit berekende verlies wil nog niet zeggen dat deze N

ook in het grondwater terecht komt. Via processen als denitrificatie in de ondergrond wordt een deel van de  $\text{NO}_3\text{-N}$  alsnog omgezet in  $\text{N}_2$  en  $\text{N}_2\text{O}$ . Het aandeel stikstof dat daadwerkelijk uitspoelt wordt de uitspoelingsfractie genoemd (Fraters et al., 2007). Met behulp van het binnen NDICEA berekende neerslagoverschot (475 mm) en een inschatting van de uitspoelingsfractie (0,5) kan het aantal kilogrammen N/ha uit NDICEA worden omgerekend naar mg N/liter. Hierbij moet de kanttekening worden geplaatst dat het door Fraters et al. (2007) gedefinieerde stikstofoverschot waarover de uitspoelingsfractie wordt berekend niet volledig identiek is aan het berekende N-overschot van NDICEA. De EU-nitraatnorm van 50 mg  $\text{NO}_3$  per liter grondwater is gelijk aan 11,3 mg N/liter. Zodra een bemestingsstrategie dus deze hoeveelheid overschrijdt kan er sprake zijn van een overschrijding van de nitraatnorm voor oppervlakte water. Uit de berekening blijkt dat alle meststoffen en bodemverbeteraars in de hier beschreven proefopzet wat betreft stikstofverlies onder de bouwvoor lager uitkomen dan de norm (Figuur 4-1).

Figuur 4-1: Effect van bemestingsstrategie op gemiddeld verlies van nitraat (N) onder de bouwvoor in mg/liter. De rode lijn geeft de EU-nitraatnorm aan.



In de Meststoffenwet (MNP, 2007) is een indicatief traject vastgesteld voor aanscherping van de fosfaat-gebruiksnormen zodat in 2015 evenwichtsbemesting wordt bereikt. Hiermee beoogt Nederland een bijdrage te leveren aan de ecologische opgave uit de Kaderrichtlijn Water (KRW) die in 2015 moet worden geleverd. Onder fosfaatevenwicht wordt verstaan: aanvoer fosfaat = afvoer fosfaat met oogst. Het beleid gaat daarbij uit van een onvermijdelijk fosfaatverlies van maximaal 5 kg  $\text{P}_2\text{O}_5$ /ha/jr (VROM, 2004). De indicatieve gebruiksnorm voor evenwichtsbemesting in 2015 is 60 kg/ha. Tabel 4-1 geeft van de bemestingsstrategieën in het hier beschreven onderzoek de gemiddelde fosfaataanvoer met (kunst)mest of compost, de gemiddelde afvoer bij oogst en het

gemiddelde overschot per hectare per jaar. Geen van de varianten voldoet aan de fosfaatevenwichtsdoelstelling voor 2015. De varianten kippenmest, natuurcompost, potstalmest en GFT+drijfmest komen wat betreft aanvoer hoger uit dan de wettelijk vastgestelde evenwichtsnorm van 60 kg  $P_2O_5$ /ha/jr en leiden tot overschotten van meer dan 42 kg  $P_2O_5$ /ha/jr. Dit zijn ook de bemestingsvarianten met de hoogste opbrengst na 7,5 jaar. Van deze meststoffen geeft natuurcompost de laagste hoeveelheid N in het oppervlaktewater. Groencompost, drijfmest en GFT leiden in deze proefopzet tot relatief lage  $P_2O_5$ -overschotten, maar bij zowel groencompost als drijfmest gaat de opbrengst in de loop van de jaren behoorlijk onderuit (Figuur 3-1). GFT geeft ondanks een lage fosfaat- en stikstofaanvoer toch redelijke opbrengsten. Het MNP (2007) concludeert in haar rapport over de werking van de meststoffenwet 2006 dat invoering van fosfaatevenwichtsbemesting waarschijnlijk geen risico's voor de bodemvruchtbaarheid geeft. Voor bedrijven die voor hun bemesting afhankelijk zijn van organische meststoffen of compostsoorten liggen de grootste risico's bij intensieve akkerbouw- en groententeeltbedrijven die intensief bemesten met kippenmest, potstalmest of natuurcompost. Om te voldoen aan de richtlijnen van 2015 zullen deze bedrijven hun bouwplan moeten extensiveren en zijn alternatieve, fosfaatarme meststoffen wenselijk.

*Tabel 4-1: Effect van bemestingsvariant op gemiddelde fosfaatgift, -afvoer en -overschot in kg per ha per jaar op basis van de gegevens 1999-2006*

Bemestingsvariant	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> -gift	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - afvoer*	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> - overschot
	kg/ ha/ jr		
Potstalmest	75	28	47
Drijfmest	35	25	10
NPK	57	26	31
GFT + drijfmest	70	28	42
Kippenmest	80	27	53
Natuurcompost	80	25	55
GFT	38	26	12
Groencompost	32	22	10

\*Afvoer is berekend op basis van de opbrengst maal de mineraleninhoud van gewassen

## 4.4 Samenvattende kwalitatieve beoordeling

Doel van het project *Investeren tot in de Bodem* is het verkrijgen van inzicht in het meerjarige effect van uiteenlopende mest- en compostsoorten op de bodemkwaliteit en nutriëntenemissie. Eind 2006 zijn daarom in een gedeelte van het proefveld Mest Als Kans metingen gedaan aan de fysische, chemische en biologische bodemeigenschappen en is de invloed van bemestingsstrategieën op opbrengst en productkwaliteit bepaald.

Samenvattend kan op basis van de resultaten na 7 jaar een eerste kwalitatief overzicht worden gemaakt van het effect van de veelgebruikte mest- en compostsoorten op een zestal belangrijke criteria voor de ondernemer en de maatschappij (Tabel 4-2). Gekozen is voor de opbrengst als belangrijke indicator voor de ondernemer, de potentiële stikstofmineralisatie als indicator voor de bodemkwaliteit op de langere termijn, de plantparasitaire nematoden als een sterk vereenvoudigde indicator voor de potentiële ziektedruk van de bodem, uitspoeling van nitraat en fosfaatoverschot als indicator voor de verliezen naar het milieu en de ontwikkeling van de organische stof als indicator voor de potentiële bijdrage aan het klimaat. Nadrukkelijk zij erop gewezen dat het hier gaat om een sterk vereenvoudigde, kwalitatieve benadering.

Tabel 4-2: Kwalitatieve score van de verschillende bemestingvarianten uit het proefveld Mest als Kans op enkele (milieu)criteria.

	Criterium	Opbrengst	Bodemkwaliteit	Ziektedruk	Milieu	Klimaat	
Bemestingsvariant	Indicator	Opbrengst	Potentiële N-mineralisatie	Plantparasitaire nematoden	Uitspoeling stikstof & overschot fosfaat	Organische stof accumulatie	Overall
Potstalmest		+	+	0	-	+	+
Drijfmest		-	+	0	0	0	0
NPK		0	-	-	0	-	-
GFT + drijfmest		+	+	+	0	+	+
Kippenmest		-	0	+	0	0	0
Natuurcompost		+	+	-	0	+	+
GFT		+	-	0	+	0	+
Groencompost		-	0	+	+	0	+

+ = positief effect, -= negatief effect en 0= neutraal effect.

# Literatuur

- Bloem, J., Lebbink, G., Zwart, K.B., Bouwman, L.A., Burgers, S.L.G.E., de Vos, J.A. and de Ruiter, P.C. (1994). **Dynamics of microorganisms, microbivores and nitrogen mineralization in winter wheat fields under conventional and integrated management.** Agriculture, Ecosystems and Environment 51: 129-143.
- Bloem, J., Schouten, J.A., Sorensen, S.J., Rutgers, M. van der Werf, A., and Breure A.M. (2006). **Monitoring and evaluating soil quality.** In: Microbiological Methods for Assessing Soil Quality (J. Bloem, D.W. Hopkins and A. Benedetti, eds). Pp 23-49. CABI, Wallingford, UK.
- Burgt G.J.H.M. van der, Oomen G.J.M., Habets A.S.J. en Rossing W.A.H. (2006). **The NDICEA model, a tool to improve nitrogen use efficiency in cropping systems.** Nutrient Cycling in Agroecosystems 74: 275-29
- EC (2006). **The soil thematic strategy.** COM (2006) 231. [www.ec.europa.eu/environment/soil](http://www.ec.europa.eu/environment/soil).
- Edwards, C. A., Lofty J.R. (1982). **Nitrogenous fertilizers and earthworm populations in agricultural soils.** In: Satchell, J.E. (ed.), Earthworm ecology: from Darwin to vermiculture. Chapman and Hall, London.
- Eekeren, N. van, E. Heeres en F. Smeding, (2003). **Leven onder de graszode. Discussiestuk over het beoordelen en beïnvloeden van bodemleven in de biologische melkveehouderij.** Louis Bolk Instituut, Driebergen, 149 p.
- Eekeren, N. van, de Visser, M., André, G., Lantinga, E., Bloem, J. en F. Smeding (2006). **Effect van mestkwaliteit op gewasgroei en bodemleven. Een verkennende potproef.** Bioveem, Rapport 16, 34 p.
- Eekeren, N. van, de Visser, M., André, G., Lantinga, E., Bloem, J. en F. Smeding (2006). **Effect van mestkwaliteit op gewasgroei en bodemleven. Een verkennende potproef.** Bioveem, Rapport 16, 34 p.
- Fraters, B., L.J.M. Boumans, T.C. van Leeuwen, J.W. Reijs (2007). **De uitspoeling van het stikstofoverschot naar grond- en oppervlaktewater op landbouwbedrijven.** RIVM rapport 680716002/2007.
- Ghani, A. Dexter, M. and K.W., Perrot (2003). **Hot-water extractable carbon in soils: a sensitive measurement for determining impacts of fertilisation, grazing and cultivation.** Soil Biology and Biochemistry 35. p 1231-1243.
- Hanegraaf, M.C. en M. de Visser, (2004). **Naar een betere bodemkwaliteit op zandgrond.** Praktijkrapport Rundvee 50, Animal Sciences Group, Lelystad, 86 p.
- Koopmans, C.J., F.W. Smeding, M. Rutgers, J. Bloem & N. van Eekeren (2006). **Biodiversiteit en bodembeheer in de landbouw.** Louis Bolk Instituut, RIVM, WUR-Alterra, Driebergen. 69 p.
- Koopmans, C.J. & C. ter Berg (2006). **Bodem en bemesting in de biologische landbouw op proefboerderij Rusthoeve 2003-2005.** Louis Bolk Instituut, Driebergen. 53 p.

- Mäder, P., Fließbach, A., Dubois, D., Gunst, L., Fried, P., en U. Niggli (2002). **Soil Fertility and Biodiversity in Organic Farming**. Science, vol. 296. p 1694-1697.
- MNP (2007). **Werking van de Meststoffenwet 2006**. MNP-publicatienummer 500124001.
- Raupp, J., Pekrun, C., Oltmanns, M. and U. Köpke (Eds.)(2006). **Long Term Field Experiments in Organic Farming**. ISOFAR Scientific Series No 1. Verlag Dr. Köster, Berlin, Germany, 198 p.
- Rutgers, M., Mulder, C. en A.J. Schouten (2007). **Typeringen van bodemecosystemen in Nederland met tien referenties voor biologische bodemkwaliteit**. RIVM rapport 607604008/2007.
- Schröder, J.J., Uenk, D. en G.J. Hilhorst (2007). **Bemestingswaarde en milieu-effecten als functie van de verhouding van minerale en organische N-verbindingen in mest. Mestkwaliteitsproef De Marke 2002-2006**. Plant Research International, rapport 159, Wageningen.
- Van Vliet, P.C.J., van der Stelt, B., Rietberg, P.I. and R.G.M. de Goede (2007). **Effects of organic matter content on earthworms and nitrogen mineralization in grassland soils**. European Journal of Soil Biology, 43, supplement 1, 8222-8229.
- VROM (2003). **Beleidsbrief Bodem**. Brief aan de Tweede Kamer met kenmerk BWL/2003 096 250.
- VROM (2004). **Derde Nederlandse Actieprogramma 2004-2009 inzake de Nitraatrichtlijn (91/676/EEG)**.
- Wander, M.M. (2004). **Soil Organic Matter Fractions and Their Relevance to Soil Function**. In: Advances in Agroecology. Magdoff, F. and R. Weil (eds). CRC, p 67-102.
- Wilson, T.C., Paul, E.A. and R.R. Harwood (2001). **Biologically active soil organic matter fractions in sustainable cropping systems**. Appl. Soil Ecol. 16, 63-76.

## Bijlage 1: Proefveld Mest Als Kans

Demonstratieveld Mest als Kans

?: CBL

1 5, NPK	14 8, Groencomp	27 5, NPK	40 8, Groencomp
2 12, DM	15 4, Varken	28 13 Natuur	41 7, Kip+DM
3 13, Natuur	16 6, Kip	29 2, Potst. int.	42 2, Potst. int.
4 2, Potst.int	17 11 GFT+DM	30 9, BI kei	43 11 GFT+DM
5 4, Varken	18 1, Potstal	31 4, Varken	44 9, BI kei
6 10, GFT	19 3, Potst.comp.	32 1, Potstal	45 6, Kip
7 6, Kip	20 7, Kip+DM	31 11 GFT+DM	46 3, Potst. comp.
8 3, Potst. comp	21 12, DM	34 8, Groencomp	47 12, DM
9 11 GFT+DM	22 5, NPK	35 3, Potst. comp.	48 10, GFT
10 7, Kip+DM	23 9, BI kei	36 7, Kip+DM	49 1, Potstal
11 1, Potstal	24 13, Natuur	37 6, Kip	50 5, NPK
12 9, BI kei	25 2, Potst.int.	38 12, DM	51 13, Natuur
13 8, Groencomp	26 10, GFT	39 10, GFT	52 4, Varken

1 veldje is 9 x 7 m

## Bijlage 2: Mestgift per variant

Onderstaande tabel geeft de gemiddelde bemesting op basis van een rotatie van 9 jaar waarbij in 6 van de 9 jaar bemest werd. De tabel geeft de werkelijke giften N, P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> en DS ten opzichte van de streef- of maximaal toegestane giften en de hoeveelheid organische stof die per variant werd toegevoegd.

Bemestingsvariant	Mestgift ton/ha/jr	N-totaal kg/ha/jr	Wcf %	N werkzaam streefwaarde kg/ha/jr	N werkzaam werkelijk	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> totaal maximaal	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> totaal werkelijk	Droge stof maximaal	Droge stof werkelijk	Organische stof werkelijk
Potstalmest	27	147	45	67	66	80	75	*	6365	4382
Drijfmest	23	95	60	67	57	80	35	*	1976	1362
NPK	6	102	100	67	68	80	57	*	0	0
GFT + drijfmest	7+ 21	58+88	*	67	6+53	80	38+32	*	6623	2596
Kippenmest	4	86	55	67	47	80	77	*	1904	1494
Natuurcompost	33	167	15	67	25	80	74	*	17754	6992
GFT	7	58	10	67	6	80	38	6000	4786	1330
Groencompost	8	53	10	67	5	80	32	6000	4584	1574



### *Bijlage 3: Samenstelling van de gebruikte mest- en compostsoorten per jaar*

Mestsoort	Datum	Gehalte in kg per ton product					
		d.s.	o.s.	N-tot	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	C*/Ntot
Potstalmest	04-99	301	175	5.6	2.7	13	14.1
	04-00	288	187	6.9	3.6	6.6	12.2
	04-01	224	160	5	2.8	10.7	14.4
	04-03	210	153	5.9	3.2	7.2	11.7
	04-05	200	130	4.3	2.5	8.7	13.5
	04-06	210	180	5.4	2.1	5.1	14.9
	Gemiddeld	239	164	5.5	2.8	8.5	13.5
Drijfmest	04-99	79	55	3.5	1.3	6.7	7.1
	04-00	82	58	3.3	1.3	5.8	7.9
	04-01	95	62	5.2	1.7	7.3	5.4
	04-03	95	65	4.9	1.8	6.8	6
	04-05	88	58	3.8	1.5	6.9	6.9
	04-06	86	64	4.4	1.6	8	6.5
	Gemiddeld	88	60	4.2	1.5	6.9	6.6
Kippenmest	04-99	466	365	15.7	18.6	18.7	10.5
	04-00	441	346	19.8	18.6	15	7.9
	04-01	441	346	19.8	18.6	15	7.9
	04-03	441	346	18.5	17.6	17.9	8.4
	04-05	639	499	28.7	30	20.3	7.8
	04-06	622	491	37.7	20.7	17.3	5.9
	Gemiddeld	508	399	23	20.7	17.4	8
Natuurcompost	04-99	500	150	4	1.5	2	16.9
	04-00	527	198	4.3	1.8	2.6	20.7
	04-01	461	258	6.3	2.3	5.9	18.4
	04-03	674	232	4.8	3.5	6.9	21.8
	04-05	511	232	4.2	1.7	2.8	24.9
	04-06	720	198	9.34	4.6	8.7	9.5
	Gemiddeld	566	211	5.5	2.6	4.8	18.7

Mestsoort	Datum	Gehalte in kg per ton product					
		d.s.	o.s.	N-tot	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	K <sub>2</sub> O	C*/Ntot
GFT	04-99	700	210	8.4	3.7	6.4	11.3
	04-00	505	165	7.1	3.4	5.3	10.5
	04-01	544	171	7.5	4.8	6.8	10.3
	04-03	667	219	5.3	11.9	5.9	18.6
	04-05	672	148	8.8	4.3	7.3	7.6
	04-06	724	198	8.27	4.5	9.3	10.8
	Gemiddeld	635	185	7.6	5.4	6.8	11.5
Groencompost	04-99	500	150	8	2	5	8.4
	04-00	500	150	8	2	5	8.4
	04-01	500	150	7.1	4.3	5.3	9.5
	04-03	674	232	5.1	13.3	5.3	20.5
	04-05	511	232	4.2	1.7	2.8	24.9
	04-06	720	198	9.3	4.6	8.7	9.5
	Gemiddeld	567	185	6.9	4.6	5.4	13.5

\* geschat als C = 0,45 x organische stof

## Bijlage 4: Analysemethoden

### Chemische analyse

Per veldje werd in een zigzag patroon met 40 steken een mengmonster genomen van de laag 0-10 cm met een monsterboor (diameter 2,3 cm) met verzamelbak. De steken werden samengevoegd, gemengd en gezeefd (<1 cm). Submonsters werden chemisch geanalyseerd door BLGG Oosterbeek.

### POM

Particulate Organic Matter (POM) is de fractie van de totale organische stof voorraad (SOM) die in on-afgebroken deeltjes in de bodem aanwezig is. POM wordt gebruikt als indicator voor de labiele (= snel mineraliseerbare) SOM voorraad. Voor bepaling van de POM fractie worden de organische deeltjes groter dan 53 µm en kleiner dan 2 mm in de totale hoeveelheid OM per kg grond bepaald.

### Bulkdichtheid

Voor bepaling van de bulkdichtheid zijn RVS 100cc ringen gestoken van 2,5 tot 7,5 cm diepte. De grond uit de ringen is gedroogd bij 105°C voor bepaling van het gewicht van de grond per volume eenheid. Het gemiddelde per plot is bepaald op basis van 4 ringen.

### Bodemstructuur en wormengangen

Beoordeling van de bodemstructuur werd gedaan aan de hand van de indeling in de structuurelementen kruimel, afgrond en scherpblokkig. In de lagen 0-10 en 10-20 cm werd per structuurelement het aanwezige percentage geschat. Het aantal gangen > 3mm werd geteld op 20 cm diepte aan de onderzijde van een kluit van 20x20x20 cm. Daarna werd de kluit op 10 cm afgestoken en werd de telling herhaald.

### Regenwormen biomassa en aantallen

Doel van deze methode is een schatting te maken van de activiteit van het bodemleven met het aantal wormen en de soorten wormen als indicator. Per plot is met een spade een blok van 20x20x20 cm uitgestoken. Op een plastic zeil zijn de wormen er uitgesorteerd. Vastgesteld is tot welke groep elke worm behoort. Daarbij is een onderscheid gemaakt in 3 groepen: strooiselbewoners (epigeic), bodembewoners (endogeic) en pendelaars (*Lumbricus Terrestris*).

### Nematoden

Vrijlevende aaltjes ("milieuaaltjes") werden geanalyseerd door BLGG Oosterbeek. Aaltjes worden met een spoel-/zeefmethode uit de bodemmonsters (0-10 cm) gehaald. In Nederland wordt de zogenaamde Oostenbrink-methode als standaard gehanteerd voor vrijlevende soorten. De aantallen worden vervolgens geteld. Na telling van het aantal in 100 gram verse grond zijn de dieren gefixeerd en circa 150 exemplaren op naam gebracht met behulp van een lichtmicroscop. Op basis van een database (BLGG, Oosterbeek) is het aantal per voedselgroep en overlevingsstrategie per 100 g veldvochtige grond vastgesteld.

## Bacteriën en schimmels

Bacteriën en schimmels zijn bepaald in bodemonsters van 0-10 cm diepte door het microbiologisch laboratorium van ALTERRA, Wageningen. Bacteriën werden gemeten door middel van confocale laser scan microscopie en automatische beeldverwerking (Leica) na kleuring met DTAF, een fluorescerende verbinding. Uit de gemeten aantallen en afmetingen van de cellen werd de bacteriële biomassa berekend en uitgedrukt in  $\mu\text{g C/g}$  droge grond. Schimmels werden gekleurd met differential fluorescent stain. Actieve schimmeldraden met veel nucleïnezuren kleuren daardoor rood, en inactieve schimmeldraden (hyfen) kleuren blauw. Hyfen die niet kleuren worden ook gemeten. De totale hyfenlengte werd gebruikt om de schimmelbiomassa te berekenen in  $\mu\text{g C/g}$  droge grond. De groeisnelheid van bacteriën werd bepaald door de inbouw van gelabelde  $^3\text{H}$ -thymidine en  $^{14}\text{C}$ -leucine in respectievelijk DNA en eiwitten te meten. De inbouwsnelheid wordt uitgedrukt in  $\text{pmol/g droge grond / uur}$ .

## N-mineralisatie

De potentiële N mineralisatie is een maat voor de activiteit van het bodemleven, met betrekking tot de functie van het beschikbaar maken van nutriënten. N-mineralisatie is bepaald uit een bodemonster van 0-10 cm diepte door het laboratorium van ALTERRA, Wageningen. De potentiële N mineralisatie werd bepaald door grondmonsters van 200 g gehomogeniseerd en gezeefd (<5 mm) aëroob te incuberen bij een vochtgehalte van 50% van het waterhoudend vermogen en een temperatuur van  $20^\circ\text{C}$ . De toename in minerale N tussen week 1 en week 6 werd gebruikt om de N mineralisatiesnelheid te berekenen. De resultaten van de eerste week werden niet gebruikt om effecten van het zeven en mengen te vermijden. Minerale N geëxtraheerd met 1M KCl, en  $\text{NH}_4$  en  $\text{NO}_3$  werden gemeten met een auto-analyzer (Skalar). De potentieel mineraliseerbare N werd gemeten via anaërobe incubatie van een grondmonster onder water (in suspensie) gedurende 1 week bij  $40^\circ\text{C}$ . De warme en zuurstofloze omstandigheden zijn optimaal voor een snelle mineralisatie van organische stof door anaërobe bacteriën. Het gebrek aan zuurstof voorkomt omzetting van vrijgekomen  $\text{NH}_4$  naar  $\text{NO}_3$  (nitrificatie). Daardoor kunnen geen ongecontroleerde N verliezen door denitrificatie optreden. De hoeveelheid minerale N ( $\text{NH}_4$ ) die vrijkomt is een maat voor de kwaliteit (N-gehalte en afbreekbaarheid) van de organische stof.

## Hot water extractable carbon

Hot water extractable carbon (HWC) is bepaald uit een bodemonster van 0-10 cm diepte door het laboratorium van ALTERRA, Wageningen. HWC werd bepaald als de hoeveelheid opgelost organische koolstof die vrijkomt tijdens incubatie van een grondmonster in heet water gedurende 16 uur bij  $80^\circ\text{C}$ . Dit is een maat voor gemakkelijk afbreekbare (labiele) organische stof. Deze fractie is een belangrijke voedselbron voor bacteriën en schimmels. HWC correleert met de microbiële biomassa en met de hoeveelheid stabiele aggregaten (vorming van klei-humus complexen). Hoe hoger de HWC-waarde, hoe duurzamer het bodemgebruik en hoe kleiner de kans op uitputting van de organische stof.

## $\text{CO}_2$ -respiratie

Het doel van deze test is het vaststellen van de biologische activiteit van de bodem door het meten van de koolzuurproductie in de bodem. Hiervoor is de koolzuurproductie van de bovengrond (0-10 cm) gemeten. De koolzuurproductie is een maat voor de snelheid waarmee de organische stof in de bodem wordt afgebroken en een indicator voor de microbiële activiteit. De  $\text{CO}_2$  respiratie is gedurende 1 week bepaald bij  $20^\circ\text{C}$  en 70% WHC door het laboratorium van GAIA Bodemonderzoek.

## Bijlage 5: Effect van bemesting op bodemdichtheid en bodemstructuur

Bodemparameter	Eenheid	Bemestingsvariant								
		Potstalmest	Drijfmest	NPK	GFT+DM	Kippenmest	Natuurcompost	GFT	Groencompost	P-waarde
Bodemdichtheid	Laag 2,5-7,5 cm									
Bulkdichtheid	g/cm³	1.43	1.44	1.43	1.43	1.44	1.43	1.44	1.44	NS
Vocht	%	17.3	17.3	17.3	17.3	17.0	17.7	17.6	17.1	0.2
Structuurelement	Laag 0-10 cm									
Kruimel	%	25 b	28 b	13 a	25 b	24 b	20 a	29 b	23 ab	0.07
Afgerond	%	74	70	80	73	72	70	66	75	NS
Scherp	%	1	2	7	2	4	10	5	2	NS

## Bijlage 6: Effect van bemesting op aantallen, voedselgroepen en overlevingsstrategieën van nematoden

Nematoden	Eenheid	Bemestingsvariant						GFT	Groencompost	P-waarde
		Potstalmest	Drijfmest	NPk	GFT+DM	Kippenmest	Natuurcompost			
Totaal aantal	#/ 100 g grond	705	568	455	529	515	905	499	422	NS
Voedselgroepen										
Bacterie-eters	#/ 100 g grond	380	363	208	332	297	404	272	230	NS
Dauerlarven	#/ 100 g grond	55	15	5	34	26	192*	22	12	NS
Plantenetters	#/ 100 g grond	141 ab	111 ab	162 b	87 a	87 a	217 c	106 ab	92 a	0.001
Schimmeleters	#/ 100 g grond	17.9	9.1	10.7	11.7	20.4	15.1	10.9	17.2	NS
Alles-eters	#/ 100 g grond	45	43	37	26	45	49	45	35	NS
Overlevingsstrategieën										
Cp-1	%	50	36	23	39	37	31	32	21	NS
Cp-2	%	22	33	41	31	34	38	32	46	NS
Cp-3	%	3	3	3	4	4	2	4	4	NS
Cp-4	%	18	21	23	16	18	18	25	19	NS
Cp-5	%	7	7	11	9	8	11	8	10	NS
Maturity Index (Cp 1-5)		2.10	2.31	2.58	2.26	2.26	2.39	2.45	2.49	NS
Maturity Index (Cp 2-5)		3.15	2.98	3.04	3.04	2.98	2.98	3.07	2.91	NS

\*1 van de 4 herhalingen binnen de variant natuurcompost heeft een grote afwijking t.o.v. de overige herhalingen.



